

В.В. Кидалов<sup>1</sup>, Г.О. Сукач<sup>2</sup>, Е.П. Потапенко<sup>2</sup>, А.Д. Байда<sup>1</sup>

## Властивості пористого арсеніду галію

<sup>1</sup>Бердянський державний педагогічний університет,  
<sup>2</sup>Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарева НАН України

Отримано неокислені шари пористого арсеніду галію. На основі експериментальних вимірювань спектрів фотолюмінесценції і зображень поперечного сколу та зовнішньої поверхні пористих шарів показано, що чинником, який дає внесок в розширення спектральної смуги і, одночасно, її короткохвильовий зсув, є квантово-розмірні ефекти. Проведено оцінку розмірів квантових ниток.

**Ключові слова:** квантові нитки, фотолюмінесценція, скануюча електронна мікроскопія.

*Стаття постуила до редакції 19.05.2004; прийнята до друку 31.08.2004.*

### I. Вступ

Низькорозмірні GaAs-структури, а особливо такі, як квантові нитки і квантові точки, привертають останніми роками все більш пильну увагу дослідників, як предмет для наукових досліджень і як перспективний матеріал для приладів нового покоління з набором нових функціональних можливостей. Так в роботі [1] показано можливість використання пористого GaAs, як антивідбиваючого покриття для сонячних елементів на основі GaAs. Методом молекулярно-променевої епітаксії одержані квантові крапки InGaAs і InSb на пористому GaAs [2]. В результаті нітризації пористих підкладок GaAs одержано тонкі плівки GaN кубічної [3] і гексагональної [4] модифікації залежно від орієнтації підкладки GaAs. Таким чином, область досліджень і застосування експериментальних зразків пористого GaAs останнім часом різко зростає.

Проте проблемі отримання пористого GaAs і дослідження його фізичних властивостей присвячено всього декілька робіт [див., напр., 5,6,7]. В основному в цих роботах досліджується короткохвильовий зсув максимуму смуги інфрачервоного випромінювання монокристалів GaAs при отриманні з них пористого GaAs. Знайдений зсув максимуму фотолюмінесценції (ФЛ), згідно результатів роботи [6], визначається поверхневим шаром іншого хімічного складу і лише за результатами роботи [7] може йти мова про те, що зсув максимуму ФЛ визначається квантово-розмірними ефектами.

У даній роботі, для зменшення впливу поверхневих оксидів на процеси випромінювальної рекомбінації пористого GaAs, були виміряні спектри ФЛ зразків пористого GaAs, що знаходяться у вакуумі і попередньо термооброблених в особливо

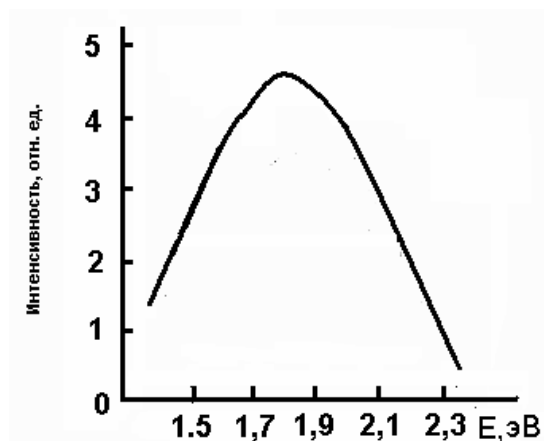
чистому водні. Як показано в роботі [8], відпал в особливо чистому водні більш ефективний для видалення поверхневих оксидів з пористого GaAs, ніж хімічна обробка в лужних розчинах.

Розмір кристалітів визначався із спектрів фотолюмінесценції, а також із аналізу експериментальних результатів скануючої електронної мікроскопії і атомно-силової мікроскопії.

### II. Експериментальні результати і їх аналіз

Зразки пористого GaAs були отримані за допомогою електролітичного анодного щавлення в комірці з платиновим протиелектродом монокристалів n-GaAs (111), легованих кремнієм до концентрації носіїв заряду  $10^{16}$ - $10^{17}$  см<sup>-3</sup>. Із зворотної сторони пластини GaAs було напилено омичний контакт. Щавлення здійснювали у водному розчині плавикової кислоти; густина електричного струму складала 20-25 мА/см<sup>2</sup>. Для видалення поверхневих оксидів з поверхні пористого GaAs використовувалося теплове очищення зразків в потоці особливо чистого водню. Оптимальна температура очищення від поверхневих оксидів Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> складала 500-600<sup>0</sup>С, час – 20 хв. Відразу після відпалу в потоці водню проводилися вимірювання спектрів ФЛ при кімнатній температурі без напуску повітря. Для збудження ФЛ використовувався імпульсний лазер з  $\lambda = 337$  нм.

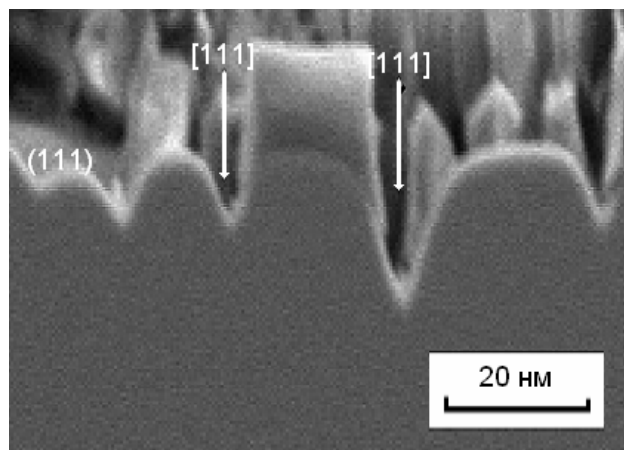
На рис. 1 показано спектр ФЛ пористого GaAs, виміряний при T = 300 К. Видно, що спектр суттєво розширений, максимум його смуги випромінювання локалізований поблизу енергії 1,86 еВ ( $\lambda \cong 667$  нм).



**Рис. 1.** Спектр фотолюмінесценції пористого GaAs при  $T = 300$  К.

Таким чином, для шарів пористого GaAs спостерігається значний зсув максимуму основної смуги ФЛ в короткохвильову область, в порівнянні з монокристалічним GaAs. Напівширина смуги випромінювання складає величину порядку 0,7 eV.

Відсутність контакту пористого GaAs з атмосферним киснем дає підставу виключити з розгляд чинник, зв'язаний з різного типу оксидами на поверхні пор і їх внеском в процеси випромінювальної рекомбінації. Різде розширення смуги ФЛ пористого GaAs пов'язане, з однієї сторони, з флуктуаціями країв енергетичних зон в пористому матеріалі. Крім того, в цьому випадку має місце розмірне квантування енергії носіїв заряду в результаті утворення нанооб'єктів з приблизно однаковими, але дещо відмінними розмірами стовбців пористого матеріалу. В результаті цього спостерігається аддитивна суперпозиція вузьких смуг ФЛ, одержуваних від квантових переходів в об'ємно-обмежених шарах дещо відмінних розмірів, що сприяє значному короткохвильовому зсуву максимуму основної смуги (через квантування) і

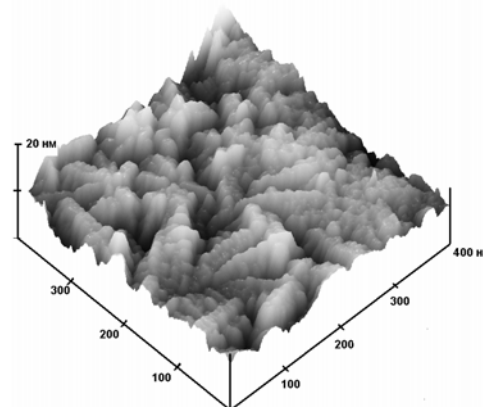


**Рис. 2.** Зображення сколи пористого GaAs (111), отримане в скануючому електронному мікроскопі (час щавлення 1 хв).

загальному розширенню смуги ФЛ (через люмінесценцію в наборі квантових стовбців різних діаметрів). Таким чином, в даній роботі підтверджено той факт, що зсув максимуму смуги ФЛ пористого GaAs обумовлений квантово-розмірними ефектами в нитках досліджуваного матеріалу. Згідно з результатами роботи [7] розміри кристалітів знаходяться в межах  $15 \pm 2$  nm.

Початкові етапи утворення нанокристалітів досліджені за допомогою скануючого електронного мікроскопа. На рис. 2 представлено зображення сколи пористого GaAs, одержаного після електролітичного щавлення монокристалів GaAs на протязі 1 хв, з якого видно, що канали щавлення утворюються перпендикулярно поверхні (111) напівпровідникової пластини; швидкості щавлення по різних каналах різко різняться; розміри утворених кристалітів теж не однаковий. Дефектів поверхні і внутрішньої структури в пористому матеріалі не спостерігається. Виходячи з результатів цих вимірювань було оцінено середній розмір утворених на початковому етапі кристалітів, який склав величину  $28 \pm 3,5$  nm. Слід підкреслити, що із збільшенням часу щавлення поперечні розміри кристалітів, природно, зменшуються. Отже результати оцінки поперечних розмірів кристалітів, отримані із спектрів ФЛ і з використанням скануючої електронної мікроскопії можна вважати близькими по величині.

Рис. 3 демонструє мікрофотографію морфології поверхні пористого GaAs, одержаної із експериментальних вимірювань із застосуванням атомно-силового мікроскопа. Для шарів пористого GaAs характерна наявність на поверхні великих кристалітів практично правильної геометричної форми. Видно, що поперечні розміри утворених кристалітів неоднакові. Оцінка середньої величини цього розміру дає значення порядку  $30 \pm 3,5$  nm. Різні також глибина пор і висота кристалічних ниток (стовбців), що опосередковано підтверджує факт значного збільшення напівширини смуги випромінювання пористого GaAs в порівнянні з його монокристалічним аналогом.



**Рис. 3.** Морфологія поверхні пористого GaAs, отримана з використанням атомно-силового мікроскопа.

### III. Висновки

Таким чином, розроблено методику отримання шарів нанопористого GaAs, шари якого не покриті оксидами. У спектрі фотолюмінесценції пористого GaAs спостерігається широка смуга з максимумом 1,86 еВ. З величини зсуву максимуму смуги фотолюмінесценції пористого GaAs по відношенню до максимуму смуги фотолюмінесценції монокристалічного GaAs, оцінено розмір кристалітів; який виявився рівним  $15 \pm 2$  нм. Оцінка поперечних розмірів кристалітів за даними скануючої електронної мікроскопії склала  $28 \pm 3,5$  нм. На даній стадії досліджень виявлено ефекти розмірного квантування. Розширення смуги ФЛ пористого GaAs, очевидно пов'язане не тільки з флуктуаціями країв енергетичних зон в пористому шарі, але і з

неоднорідністю розмірів кристалітів. В результаті кожному окремому набору кристалітів із заданим середнім розміром відповідає певна вузька смуга фотолюмінесценції, суперпозиція яких приводить до зсуву максимуму основної смуги в короткохвильову область спектру і обумовлює в свою чергу загальне значне розширення сумарної смуги фотолюмінесценції. Подальші технологічні розробки дозволять розраховувати на отримання однорідніших за поперечними розмірами кристалітів і на співпадання оцінки розмірів кристалітів, вироблених різними методами.

Робота виконана при фінансовій підтримці ДФФД України, проект 04.07/256.

- [1] G. Flamad, J. Poortmans. Porous GaAs as a possible antireflective coating and optical diffusor for III-V solar cells // *4-th International Conference Porous semiconductors science and technology*. Culera-Valencia, Spain, pp. 312-313 (2004).
- [2] Y. Buzin, A. Belyaev, N. Vostokov, D. Gaponova. Growth and properties of InGaAs layers and InAs quantum dots on porous GaAs // *4-th International Conference Porous semiconductors science and technology*. Culera-Valencia, Spain, pp. 408-409 (2004).
- [3] V.V. Kidalov, G.A. Sukach, A.O. Petukhov, A.S. Revenko, E.P. Potapenko. Photoluminescent properties of GaN thin films obtained by thermal annealing porous GaAs (001) substrates with active nitrogen radicals // *Journal of Luminescence*, **102-103**, pp. 712-714 (2003).
- [4] В.В. Кидалов, Г.А. Сукач, А.С. Ревенко, Е.П. Потапенко. Ультрафиолетовая люминесценция тонких пленок GaN, полученных методом радикало-лучевой гетеризирующей эпитаксии на пористых подложках GaAs (111) // *ФТП*, **37**(11), сс. 1303-1304 (2003).
- [5] Ю.Н. Бузынин, С.А. Гусев, Ю.Н. Дроздов, А.В. Мурень. Пористый GaAs с кластерами мышьяка // *ЖТФ*, **70**(5), сс. 128-130 (2000).
- [6] Д.Н. Горячев, О.М. Сресли. Фотолюминесценция пористого арсенида галлия // *ФТП*, **31**(11), сс. 1383-1386 (1997).
- [7] Н.С. Аверкин, Л.П. Казакова, Э.А. Лебедев, Ю.В. Рудь, А.Н. Смирнов, Н.Н. Смирнова. Оптические и электрические свойства пористого арсенида галлия // *ФТП*, **34**(6), сс. 757-761 (2000).
- [8] V.V. Kidalov, G.A. Sukach. Nitridation of porous GaAs (111) // *The 5<sup>th</sup> International Symposium on Blue Laser and Light Emitting Diodes Semiconductors Physics Research Centry*. Korea, p. 368-369 (2004).

V.V. Kidalov<sup>1</sup>, G.O. Sukach<sup>2</sup>, E.P. Potapenko<sup>2</sup>, A.D. Bayda<sup>1</sup>

### The Properties of Porous Gallium Arsenide

<sup>1</sup>Berdyansk State Pedagogical University,

<sup>2</sup>V.E. Lashkarev' Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine

The porous layers of arsenide gallium are got. On the basis of the experimental measuring of spectrums of photoluminescence and images of transversal plate and external surface of porous layers it is shown that by a factor, which gives a payment in expansion of spectral bar and, simultaneously, its short-wave change, there are quantum-size effects. Estimation of sizes of quantum lines is lead.